Правительство Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(СПбГУ)

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по научной работе

_____С. В. Микушев
«_28_» декабря 2024 г.

# ИТОГОВЫЙ ОТЧЕТ
# О РАБОТЕ ЛАБОРАТОРИИ ПЛАЗМОННО УСИЛЕННОЙ СПЕКТРОСКОПИИ И БИОИМИДЖИНГА
за 2024 год

Руководитель Е. В. Соловьева

Санкт-Петербург
2024

## 1. Общая информация о Лаборатории

Лаборатория плазмонно усиленной спектроскопии и биоимиджинга Санкт-Петербургского государственного университета создана приказом № 1070/1 ректора Н. М. Кропачева от 10.02.2022. Руководителем лаборатории является к.х.н., доцент Соловьева Елена Викторовна, выпускник Института химии СПбГУ. Штат Лаборатории состоит из специалистов физических, химических и биологических наук, включая 1 доктора наук и 4 кандидатов наук, 77 % коллектива Лаборатории являются молодыми учеными (приказ об утверждении научного коллектива № 2009/1 от 09.03.3033 с последующими дополнениями и изменениями). Лаборатория активно развивает направление тераностики, работает над созданием современных средств физико-химического анализа биоактивных веществ и биологических объектов, имеет отдельные наработки в области фотоактивных материалов для биомедицины и экологической инженерии. Научно-исследовательская деятельность Лаборатории осуществляется в рамках государственного задания СПбГУ и внешних привлеченных источников финансирования.

## 2. Результативная часть отчета

Лаборатория плазмонно усиленной спектроскопии и биоимиджинга создана для разработки высокоэффективных средств биовизуализации, гипертермальной и фотодинамической терапии биотканей. Объектом разработок являются гибридные наноструктуры на основе наночастиц благородных металлов, полимеров и функциональных молекул.

В 2024 году научно-исследовательская работа проведена с гибридными наноструктурами трёх типов: 1) стержневидные НЧЗ, получаемые методом наращивания зерен, и молекулярные хромофоры; 2) сферические ЗНЧ, получаемые методом лазерной абляции, и флуорофоры; 3) сферические НЧЗ, получаемые цитратным способом, и молекулярные хиральные селекторы. Также выполнен блок работ по синтезу новых функциональных молекул для их последующего включения в состав гибридных наноструктур.

В 2024 году в Лаборатории получены новые образцы плазмонных меток с цианиновыми хромофорами с терминальной N-гидроксисукцинимидной группой, которая может быть использована для конъюгации векторов доставки в мягких условиях. С использованием образцов проведен детальный анализ спектров гигантского комбинационного рассеяния (ГКР) N-гидроксисукцинимидных производных сульфо-цианинов 5.5 и 7.5, установлена ориентация молекул при адсорбции на положительно заряженной поверхности наночастиц золота, показано, что реакционно способная группа остается стерически доступной для химического взаимодействия с компонентами раствора. Плазмонные метки, полученные при ковалентной конъюгации хромофора к покрытию наночастицы, показали гораздо более интенсивный оптически отклик в сравнении с аналогичными системами, полученными путем неспецифической адсорбции хромофора. Изготовленные ГКР-метки со структурой «ядро–оболочка–хромофор» позволили получить спектральные карты раковых клеток HeLa с высоким разрешением и выявить область их локализации.

На основе наночастиц из золота и золото-серебряного сплава, получаемых методом лазерной абляции, получены гибридные наноструктуры с оболочкой из оксида кремния, проведена их доказательная характеризация. С использованием данных гибридов получены температурные зависимости спектров флуоресценции для порфиринов, металлированных Co, Cu и Mn. Для полученных образцов показано, что соединения с медью и марганцем демонстрируют большую стабильность при нагревании, так как их сигнал флуоресценции почти не изменяется при переходе от 20 до 60 °C, в то время как у образца, содержащего атом Co в тетрапиррольном кольце, наблюдается увеличение интенсивности полосы в области 660 нм на 20 %. Таким образом, установлено, что порфириновые производные с атомом Co проявляют большую температурную чувствительность и потенциально могут применяться в

качестве основных компонентов внутриклеточных флуоресцентных термометров. Однако, наилучшая точность определения температуры обнаружена для порфириновых диад, в состав которых входят металлированный и неметаллированный порфирины. Достигнутая точность измерения температуры составила 0.2 °C.

Проведена первичная оценка люминесцентных свойств перспективных для биомедицинских применений материалов на основе углерода: карбинов и углеродных квантовых точек. Полученные спектры люминесценции показали влияние размерного эффекта на положение максимума люминесценции, что может быть использовано при разработке люминофоров со спектром излучения в области окна прозрачности биологических тканей. Наночастицы золота выступают не только в роли стабилизаторов карбиновых цепочек, но и участвуют в процессе усиления их люминесценции

В 2024 году в Лаборатории запущены работы по квантово-химическому моделированию исследуемых систем. Для оптимизации синтетических работ и выбора рационального пути синтеза расчеты начаты для гадолиниевых комплексов порфиринов. На примере тетрафенилпорфирината гадолиния TPP-Gd и диады TPP-Gd–TPP-2H, проведено моделирование координационных соединений с имидазолом, их оптимизация, расчет электронных свойств и термохимических процессов образования конечного продукта из начальных реагентов.

Блок работ 2024 года включал синтез новых производных порфирина и родственных соединений, в дизайне которых созданы предпосылки к мультимодальному аналитическому или ратиометрическому температурному отклику. Первый класс получаемых объектов включал гадолинированные порфирины, обладающие высокой релаксивностью. Такие соединения имеют потенциал для фотодинамической терапии, проводимой под контролем люминесцентной визуализации и МРТ томографии. В частности, получено два новых соединения: комплекс гадолиния (III) с мезо-тетракис(N-метил-4-пиридил)-порфин тетратозилатом и комплекс гадолиния (III) с протопорфирином IX. За счет атома гадолиния данные комплексы имеют парамагнитные свойства, что позволит использовать их в качестве контраста в магнитно-резонансной томографии. Второй класс получаемых производных порфирина относится к несимметричным порфириновым диадам. В частности, получена диада ZnTPPS-gba-TPP (gba – γ-аминомасляная кислота), растворимая в воде, благодаря чему может быть применена в качестве сенсора на температуру в живых системах.

В 2024 году продолжена работа по развитию методик капиллярного электрофореза с модификацией внутренних стенок кварцевых капилляров полимерами, наночастицами золота и их сочетанием. В частности, апробирована новая комбинация хитозан - наночастицы золота, в которой имеются предпосылки к хиральному разделению аналитов за счет структуры биополимера.

Плановые показатели 2024 года Лабораторией достигнуты в полном объеме, в частности, опубликовано 10 статей, индексируемых в Scopus и Web of Science (из них 5 в научных журналах первого и второго квартилей), сделано 8 устных (7 секционных и 1 приглашенный) и 1 стендовый доклад на международных и всероссийских конференциях.

- **Проведение научных исследований**

В 2024 г. были проведены следующие научно-исследовательские работы по тематике деятельности Лаборатории:

1. НИР в рамках ГЗ «Создание лаборатории плазмонно усиленной спектроскопии и биоимиджинга», руководитель Е.В. Соловьева, PURE ID 95446085.
2. Грант РНФ № 22-73-10052 «Мультимодальные плазмонные метки для биовизуализации и лечебной гипертермии», руководитель Е.В. Соловьева, PURE ID 121541596.

3. Грант РНФ № 23-22-00202 на тему «Разработка молекулярно-плазмонных наноструктур для задач прецизионного оптического нагрева и люминесцентной термометрии в фотомедицине», руководитель А.В. Поволоцкий, PURE ID 115662166.
4. Договор на выполнение научно-исследовательских работ № 45 «Исследование темновой токсичности и фототоксичности мицеллированных систем бор(III)дипиррометеновых люминофоров», руководитель Соловьева Е.В., PURE ID 127447611

Сотрудниками Лаборатории в 2024 г подана 1 заявка на получение внешнего финансирования под руководством А.В. Поволоцкого (заявка на грант РНФ № 25-12-00144, PURE ID 128431727) и 3 заявки на исходящую академическую мобильность в рамках внутреннего финансирования по Мероприятию 5, одна из которых получили поддержку (проект 118440150, руководитель Е.В. Соловьева).

Перечень опубликованных в 2024 году работ Лаборатории плазмонно усиленной спектроскопии и биоимиджинга по тематике деятельности:

1. Smirnov A. N., Shevchuk A. I., Volkova A. V., Kalganov V. D., Solovyeva E. V. Gold-silica plasmonic nanobones with tunable size and optical bimodality for bioimaging // Colloids Surfaces A. 2024. V. 684. 133115 DOI:10.1016/j.colsurfa.2023.133115 PURE ID 115625153
2. Makeeva D.V., Morgacheva V.P., Kolobova E.A., Solovyeva E.V., Kartsova L.A. Multilayer coatings based on gold nanoparticles and polymers with bovine serum albumin as a functional layer for the chiral separation in capillary electrochromatograph // Journal of Separation Science. 2024. V. 47. № 2. 2300864 DOI:10.1002/jssc.202300864 PURE ID 116480710
3. Kucherik A., Osipov A., Samyshkin V., Hartmann R.R., Povolotskiy A.V., Portnoi M.E. Polarization-Sensitive Photoluminescence from Aligned Carbon Chains Terminated by Gold Clusters // Physical Review Letters. 2024. V. 132. 056902 DOI:10.1103/PhysRevLett.132.056902 PURE ID 116435188
4. Shamsali F., Solovyeva E., Nasiri N.; Jamshidi Z. How is the observation of high-order overtones and combinations elucidated by the charge-transfer mechanism in SERS? // Journal of Physical Chemistry A. 2023. V. 127. № 50. p. 10583–10590 DOI:10.1021/acs.jpca.3c05956 PURE ID115131007
5. Shevchuk A.I., Smirnov A.N., Svinko V.O. Solovyeva E.V. Surface-enhanced Raman scattering of sulfo-cyanine NHS esters adsorbed on gold nanoparticles // Russian Journal of General Chemistry. 2024. V. 94. P. S20-S27 DOI:10.1134/S1070363224140032 PURE ID 119202195
6. Kostromin S., Borodina A., Pankin D., Povolotskiy A., Bronnikov S., N-doped carbon quantum dots obtained from citric acid and L-phenylalanine // Chemical Physics Letters. 2024. V. 841. 141175 DOI: 10.1016/j.cplett.2024.141175 PURE ID 117802834
7. Solovyeva E.V. Surface-Enhanced Raman Scattering: 50 Years of Development and Its Role in Nanobiotechnology // Nanobiotechnology Reports. 2024. V. 19. № 1. P. 1-16 DOI:10.1134/S2635167623601468 PURE ID 123930944
8. Свинко В.О., Соловьева Е.В. Получение и оптические свойства золото-полимерных гибридов для биовизуализации методом гигантского комбинационного рассеяния света // Оптический журнал. 2024. Т. 91. № 11. С. 91-99 DOI:10.17586/1023-5086- 2024-91-11-00-00 PURE ID 123931048
9. Soldatova D.A., Chebanova E.S., Del Carpio Rocha A., Konev A.S., Sokolov I.A., Povolotskiy A.V., The Role of $SiO_2$ Shell in the Formation of Hybrid Molecular Plasmonic Core-Shell Nanoparticles // Glass Physics and Chemistry. 2024. V. 50. № 5. Принята в печать PURE ID 127513501
10. Povolotskiy A.V., Soldatova D.A., Smirnov A.A., Povolotckaia A.A., Lukyanov D.A., Konev A.S., Solovyeva E.V. Photophysical properties of hybrid nanoparticles based

on water-soluble porphyrin, gold core and polymer shell // Russian Journal of General Chemistry. 2024. V. 94. № 11. Принята в печать PURE ID 127817643

- **Участие в конференциях, форумах, иных научно-практических мероприятиях**

Сотрудниками Лаборатории плазмонно усиленной спектроскопии и биоимиджинга в 2024 году сделано 8 устных и 1 стендовый доклад на международных и всероссийских конференциях, среди которых известные мероприятия в области фотоники и фотомедицины.

1. Деменьшин А.И., Соловьева Е.В. Синтез и исследование биосовместимости конъюгата наночастиц золота с 4'-амино-дифенилацетиленом, LXXXV ежегодная итоговая научно-практическая конференция студентов и молодых ученых с международным участием "АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ И КЛИНИЧЕСКОЙ МЕДИЦИНЫ - 2024", тип доклада: секционный, г. Санкт-Петербург, https://sovetsno1med.ru/avekm PURE ID 119205675
2. Смирнов А.А., Солдатова Д.А. Флуоресцентный отклик и генерация синглетного кислорода гибридных систем тераностики на основе золотых наночастиц и порфиринов, XXXI Международная научная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Ломоносов-2024», г. Москва, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, секционный, https://lomonosov-msu.ru/rus/event/9000/ PURE ID 120171193
3. А.В. Поволоцкий, Д.А. Солдатова, А.А. Тыщенко, А.В. Шмакова, Д.А. Лукьянов, А.С. Конев. Гибридные наноструктуры для прецизионного оптического нагрева и контроля температуры нагревателей в режиме реального времени, 2-ая Международная конференция ЛАЗЕРЫ, ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ИЗЛУЧАТЕЛИ И СИСТЕМЫ НА ИХ ОСНОВЕ, г. Минск, Беларусь, Институт физики НАН Беларуси, тип доклада: секционный, http://ifan.basnet.by/?page_id=3016 PURE ID 121232519
4. Е.В. Соловьева, А. А. Смирнов, Д.А. Солдатова, А.В, Шмакова, А.А. Тыщенко, Д.А. Лукьянов, С.А. Конев, А.В. Поволоцкий. Молекулярно-плазмонные гибриды на основе порфиринов и наночастиц золота, XV МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «СИНТЕЗ И ПРИМЕНЕНИЕ ПОРФИРИНОВ И ИХ АНАЛОГОВ» г. Иваново, тип доклада: секционный https://conf.isuct.ru/ICPC15 PURE ID 124239860
5. E.V. Solovyeva, V.O. Svinko, A.I. Demenshin, A.N. Smirnov. Plasmonic agents for bioimaging and photothermal therapy with red and NIR lasers, 21st International Conference Laser Optics (ICLO 2024), Saint-Petersburg, Russia, тип доклада: секционный, https://laseroptics.org/ PURE ID 121545725
6. В.О. Свинко, С.А. Асланов, Е.В. Соловьева. Агенты фотодинамической терапии на основе анизотропных наночастиц золота: оптический отклик и влияние на фотоиндуцированный гемолиз, 6-я Российская конференция по медицинской химии "МедХим 2024", г. Нижний Новгород, Россия, тип доклада: секционный https://medchemconf.ru/ PURE ID 124004952
7. А.В. Поволоцкий, Д.А. Солдатова, А.А. Тыщенко, А.В. Шмакова, Д.А. Лукьянов, А.С. Конев. Optical nanoheaters with fluorescent thermometers on board, 21st International Conference Laser Optics (ICLO 2024) Saint-Petersburg, Russia, тип доклада: секционный, https://laseroptics.org/ PURE ID 124180976
8. Svinko V.O., Solovyeva E.V. HYBRID SYSTEMS BASED ON GOLD NANOPARTICLES, CHITOSAN AND PROTOPORPHYRIN AS AGENTS OF ANTIBACTERIAL PHOTODYNAMIC THERAPY, XIII International Conference on Chemistry for Young Scientists “Mendeleev 2024” Saint-Petersburg, Russia, тип

доклада: стендовый https://events.spbu.ru/events/mendeleev-2024 PURE ID 124245427

9. Поволоцкий А.В., Соловьева Е.В., Лукьянов Д.А., Конев А.С. Гибридные молекулярно-плазмонные наноструктуры типа ядро-оболочка для задач фотомедицины, Всероссийская конференция с международным участием «Биохимия человека» г. Москва, тип доклада: секционный, https://innovativedrugs.ru/berezov2024/ PURE ID 127533656

В 2024 г. сотрудники Лаборатории также имеют достижения:

— диплом за лучший устный доклад на 6-ой Всероссийской конференции по медицинской химии (В. О. Свинко);

— диплом за лучший доклад на секции «Физика» Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Ломоносов-2024» (А. А. Смирнов);

— диплом I степени за устный доклад на LXXXV научно-практической конференции с международным участием «Актуальные проблемы биомедицины - 2024» (А. И. Деменьшин);

— инженер-исследователь В. О. Свинко вышла в финал всероссийского конкурса «Хеликон Наука»;

— инженер-исследователь В. О. Свинко вышла в финал всероссийского конкурса «Молодые, дерзкие, перспективные».

- **Мероприятия Лаборатории**

С участием сотрудников Лаборатории в 2024 году была организована школа молодых ученых «Неорганические, (био)гибридные и полимерные наноструктуры: синтез и функциональные свойства». Ссылка на интернет страницу с информацией о школе: https://spbu.ru/news-events/calendar/neorganicheskie-biogibridnye-i-polimernye-nanostruktury-sintez-i-funkcionalnye Приказ №341/1 от 19.01.2024

Сотрудник Лаборатории Поволоцкий А.В. отвечает за подготовку и реализацию образовательной программы магистратуры для ПИШ СПбГУ «Материалы высоких технологий» (распоряжение №1114/1р от 14.03.2024) и проведение практик и стажировок обучающихся в рамках данной программы (производственная практика (практика по получению профессиональных умений и опыта профессиональной деятельности), преддипломная практика).

Сотрудники Лаборатории плазмонно усиленной спектроскопии и биоимиджинга в 2024 году приняли участие в реализации дисциплин в рамках образовательных программ бакалавриата и магистратуры СПбГУ:

1. Наноструктуры в науке и жизни, лекции, магистратура, Поволоцкий А.В.
2. Практические основы реализации научно-практической продукции, лекции, магистратура, Поволоцкий А.В.
3. Основы лазерной химии, лекции, семинары, бакалавриат, Поволоцкий А.В.
4. Физика, лекции, бакалавриат, Поволоцкий А.В.
5. Изучение динамики молекулярных процессов, лекции, семинары, Поволоцкий А.В.
6. Физические методы в химии конденсированных сред, лекции, семинары, бакалавриат, Поволоцкий А.В.
7. Лазерные методы исследований в химии, лекции, семинары, бакалавриат, Поволоцкий А.В.
8. Оптические методы исследования поверхности и наночастиц, лекции, семинары, лабораторные работы, магистратура, Соловьева Е.В.
9. Физическая химия, лабораторные работы бакалавриат, Соловьева Е.В.

Работа в экспертной комиссии конкурсов:

- Конкурс научно-исследовательских проектов учащихся «Газпром-классов» «Ступени», член комиссии Поволоцкий А.В.
- Федеральный этап XIV Турнира естественных наук, представитель жюри Поволоцкий А.В.

- **Экспертная деятельность**

Сотрудники Лаборатории в 2024 г. следующую деятельность экспертного характера:
- работа в составе экспертного корпуса РАН
- работа в секции «Кадровое обеспечение» в составе рабочей группы по химическим материалам профильного комитета по научно-технологическому и инфраструктурному развитию Совета по развитию электронной промышленности Минпромторга России.

- **Достижение плановых показателей деятельности Лаборатории**

| | Показатель | План на год | Факт за отчетный период |
|---|---|---|---|
| **Проведение научных исследований** | | | |
| 1 | Текущие НИР по тематике исследования (гранты, коммерческие договора) членов коллектива | 3 | 4 |
| 2 | Публикации (типа article и review) в научных журналах, индексируемых в международных базах научного цитирования (Web of Science Core Collection и (или) Scopus) | 7 | 7 |
| 3 | Прочие публикации в научных журналах, входящих в базу данных РИНЦ, в т.ч. в ядро РИНЦ | 3 | 3 |
| 4 | Рецензируемые монографии (при наличии ISBN), рецензируемые энциклопедии (при наличии ISBN) | 0 | 0 |
| 5 | Число поданных заявок на получение патента или регистрацию результата интеллектуальной деятельности (далее — РИД) | 0 | 0 |
| **Участие в конференциях, форумах, иных научно-практических мероприятиях** | | | |
| 6 | Доклады на ведущих международных научных (научно—практических) конференциях в Российской Федерации и за рубежом | 3 | 6 |
| **Мероприятия Лаборатории/Центра** | | | |
| 7 | Проведение научных мероприятий | 1 | 1 |
| 8 | Подготовка и реализация различных образовательных программ, курсов, лекций, семинаров, стажировок и т.п. | 1 | 1 |
| **Экспертная деятельность** | | | |
| 9 | Аналитические материалы в интересах (по заказам) органов | 0 | 0 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | государственной власти | | |
| 10 | Подготовка экспертных материалов/заключений, работа в составе экспертных комиссий, рабочих группах, советах и прочее. | 2 | 2 |

**3. Заключение**

В 2024 году коллектив Лаборатории плазмонно усиленной спектроскопии и биоимиджинга выполнил весь запланированный объём работ, продолжив разработку гибридных систем тераностики. В рамках ведущихся НИР проведена апробация плазмонных меток в режиме биовизуализации с помощью гигантского комбинационного рассеяния света, определены параметры температурной чувствительности отдельных люминофоров, выполнены спектральные исследования новых флуорофоров, синтезированы новые функциональные молекулы из ряда гадолинированных порфиринов, получены гибридные структуры на основе наночастиц золота и хитозана, которые применены в капиллярном электрофорезе для разделения модельных смесей β-блокаторов и нестероидных противовоспалительных средств. По результатам работы за 2024 год подготовлено 10 статей, индексируемых в Scopus/Web of Science, сделано 8 устных и 1 стендовый доклад на научных конференциях, 6 из которых имеют статус международной, привлечено внешнее по отношению к СПбГУ финансирование. Основные научные результаты, полученные в 2024 году, следующие:

— получены новые образцы плазмонных меток биовизуализации с помощью спектроскопии гигантского комбинационного рассеяния с хромофорами, имеющими реакционно способную группу. Для сукцинимидных производных цианиновых хромофоров подтверждена стерическая доступность функциональной группы при их адсорбции на положительно заряженной поверхности наночастиц золота;

— установлено, что структуры ядро-оболочка с ковалентно конъюгированным красителем имеют значимо более интенсивный спектральный отклик ГКР в сравнении с гибридами, в которых краситель иммобилизован путем неспецифической адсорбции. Приготовленные плазмонные метки позволили получить контрастные изображения клеточных образцов методом гигантского комбинационного рассеяния;

— установлено влияние препаративных факторов на оптические свойства и устойчивость гибридов на основе наночастиц золота, полимеров и хромофоров цианинового ряда;

— получены новые гибридные структуры ядро-оболочка на основе наночастиц золота и порфиринов. Определены необходимые для разработки бесконтактных люминесцентных термометров параметры относительной температурной чувствительности и температурного разрешения ряда порфириновых производных. Наилучшая точность определения температуры (0.2 °C) обнаружена для порфириновых диад, в состав которых входят металлированный и неметаллированный тетрапиррольный фрагменты;

— проведена первичная оценка люминесцентных свойств перспективных для биомедицинских применений материалов на основе углерода: карбинов и углеродных квантовых точек. Выявлено, что анизотропные углеродные цепочки, стабилизированные наночастицами золота, демонстрируют молекулярно-подобные спектры поглощения и излучения, селективные к поляризации возбуждающего излучения, а присутствие плазмонных частиц приводит к усилению их люминесценции;

— получены новые комплексные соединения мезо-тетракис(N-метил-4-пиридил)-порфина и протопорфирина IX с гадолинием, которые имеют потенциал для использования в качестве агентов фотодинамической терапии, проводимой под контролем люминесцентной визуализации и МРТ томографии;

— получена новая водорастворимая несимметричная порфириновая диада ZnTPPS-gba-TPP для апробации в качестве биосовместимого люминесцентного температурного сенсора;

— на примере тетрафенилпорфирината гадолиния проведено компьютерное исследование взаимодействия порфиринов с гадолинием. Рассчитаны и проанализированы энергетические уровни молекулярных орбиталей, как участвующих в оптических переходах, так и образованные исключительно *f*-орбиталями атома металла. Предложен механизм образования изолированного комплекса TPP-Gd(Cl) и координационного соединения, включающего две молекулы имидазола. Показан оптимальный путь образования наиболее выгодной структуры конечного координационного соединения и сопутствующих молекулярных продуктов. Полученные данные будут учтены при разработке агентов тераностики на основе гадолинированных порфиринов, подразумевающих их использование в МРТ томографии и/или нейтрон-захватной терапии;

— получены гибридные структуры наночастицы золота-хитозан. Данные структуры обеспечили увеличение эффективности и селективности разделения аналитов различной природы в качестве компонентов фонового электролита в условиях капиллярного электрофореза за счет увеличения удельной поверхности и доступности активных центров. Сформированные на основе хитозана покрытия внутренних стенок капилляра показали аддитивный эффект в отношении разделения энантиомеров лекарственных веществ (профенов и β-блокаторов) с вторым хиральным селектором (ванкомицин и гидроксипропил-β-циклодекстрин).